TD premier principe

Exercice 1 Variation d'énergie interne *

On considère d'abord pour système, n mole d'un gaz parfait monoatomique. Que vaut sa capacité thermique ?
On chauffe le gaz de 25°C à 60°C. Calculer ΔU.
On considère à présent un corps pur en phase condensée de capacité Cv. Ecrire la relation de dU avec dT.
On le chauffe de 25°C à 400°C, que vaut ΔU ?

Exercice 2 Capacité calorifique *

On place une pièce de cuivre et une pièce de bois dans le four jusqu'à ce qu'ils atteignent la température du four Tf. Les deux pièces ont la même masse M. Sorties du four les deux pièces sont posées sur deux énormes blocs de glace identiques. C_{bois} = 1,8 kJ/kg ; C_{cu} = 0,49 kJ/kg

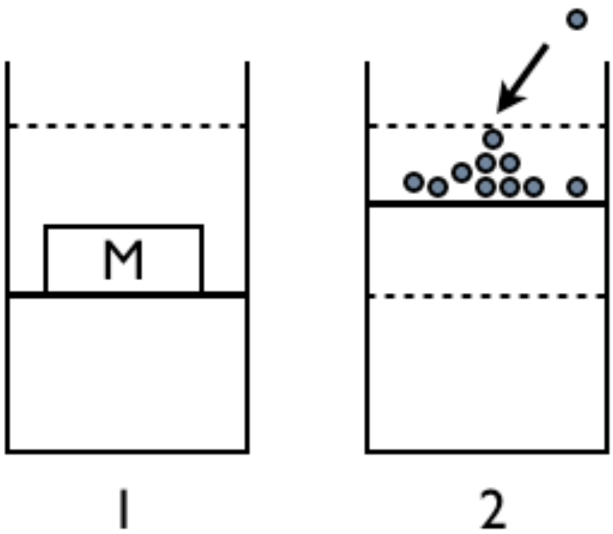
- Quelle pièce fait fondre le plus de glace ?
- Quelle bloc arrête de fondre en premier ?

Exercice 3 Calorimétrie *

Pour réchauffer l'eau d'une baignoire remplie de 50L d'eau à 24°C on doit ajouter de l'eau chauffée à la casserole à une température de 100°C. On veut une température idéale de 30°C. Quelle quantité d'eau bouillante faut il ajouter au bain ? On donne c_{eau} = 4,18 kJ.K-1.kg-1 (A quoi sert cette information ?)

Exercice 4 Transformation quasi-statique **

On considère un gaz parfait dans un tube vertical et comprimé par un piston de masse négligeable. Initialement, le gaz de volume V0 est à température T0 sous une pression atmosphérique P0.
1 - On pose alors une masse M sur le piston. Exprimer la pression extérieure imposée au système. Déterminer vers quel état d'équilibre évolue le gaz sachant que les parois laissent passer la chaleur (parois diathermes). Calculer ΔU, W et Q. La transformation est elle réversible ?
2 - On recommence la même opération mais en ajoutant des grains de masse dm jusqu'à atteindre M. Comment qualifier cette transformation ? A partir du calcul précédent exprimer δw, puis calculer ΔU, W et Q.

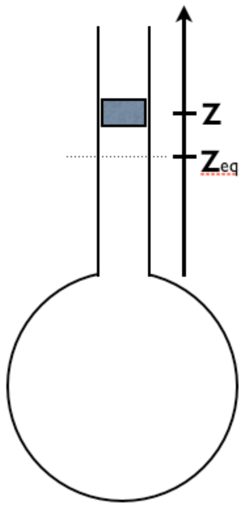


3 - On reprend le système étudié pour le premier principe **exo 4 : transformation quasi-statique**.
- Cas 1 : Exprimer la variation totale d'entropie en fonction du rapport des volumes $V1/V0$ que l'on explicitera. Calculer l'entropie échangée grâce au premier principe et à l'expression du travail.

En déduire l'entropie créée : la transformation est-t-elle réversible ?
- Cas 2 : Transformation quasi-statique. Reprendre la démarche du cas 1 avec une masse Δm, telle-que $M=N.\Delta m$. On fera donc N transformations successives où l'on ajoute N fois une masse Δm.

Que vaut la variation totale d'entropie lors d'une transformation ? (On fera le développement limité $\ln(1+x) \sim x - ½.x^2$).
4 - Calculer l'entropie échangée et en déduire l'entropie créée.
5 - Sommer enfin les N contributions : la transformation est-t-elle réversible ?
Quelle limite prendre sur N pour que la transformation le devienne exactement ?

Exercice 5 Méthode de Rückhardt **



On considère une bouteille avec un piston de masse m pouvant coulisser dans le goulot de section S.
- En faisant le bilan des forces écrire la condition d'équilibre du piston dans le goulot. On notera P_0 la pression extérieure et P_{eq} la pression d'équilibre dans la bouteille.
- On considère désormais que le piston oscille dans le goulot. On supposera pour cela que le mouvement du piston comprime adiabatiquement le gaz enfermé. On pose $P = P_{eq} + \Delta P$ et $V = V_{eq} + \Delta V$. Etablir l'équation différentielle du mouvement et la simplifier grâce à l'équation d'équilibre. Exprimer ΔV en fonction de S et Δz. Relier ΔV et ΔP avec la loi de Laplace. En déduire la fréquence d'oscillation du piston.
- Comment déduire le gamma du gaz avec cette expérience ?

Exercice 6 La bouteille ***

On considère une bouteille thermos entièrement calorifugée et initialement sous vide. A t = 0, on ouvre le bouchon, l'air rentre et on referme hermétiquement aussitôt que l'équilibre des pressions est réalisé. On note P_{ext}, T_{ext} et V_{ext} les pression, température et volume du gaz extérieur qui va rentrer dans la bouteille gamma ($\gamma=C_p/C_v$) le coefficient du gaz. Calculer la température finale du gaz enfermé dans la bouteille ?

Exercice 7 Loi de Laplace *

Démontrer la loi de Laplace en P et V sans passer par $PV/T=Cte$: reprendre la démo du cours et remplacer dT par $d(PV) / (nR)$.

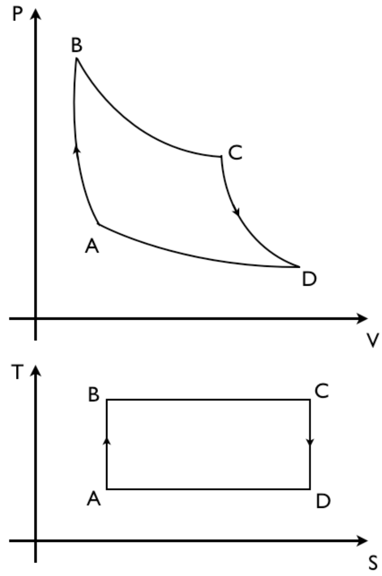
TD Deuxième principe

Exercice 1 Solide en contact avec un thermostat **

On met en contact un solide de capacité thermique C et de température T1 avec un thermostat fixé à T0.
Calculer la variation d'entropie et l'entropie échangée. En déduire l'entropie créée. En posant $X = T1/T0$ montrer que l'entropie créée est toujours positive. Que se passe-t-il si $T1 > T0$ et pourquoi ?

Exercice 2 Mise en contact de deux solides de températures différentes **

On met en contact deux solides de capacités $C1= m1.c1$ et $C2 = m2.c2$ et de températures T1 et T2. L'ensemble est considéré isolé. Que vaut la température finale Tf ? Calculer la variation d'entropie totale de chacun des deux solides en imaginant un chemin réversible. Déduire la variation totale d'entropie et l'entropie de création. Dans le cas particulier où $C1 = C2$, montrer que l'entropie de création est bien positive.



Exercice 3 Expression de l'entropie du GP dans ses variables canoniques **

En se basant sur la méthode du TD 1 exercice 3 (Equation d'état du gaz parfait), montrer que
$S(U,V) = nR.\ln(V) + 3/2\ nR.\ln(U)$ pour un GP monoatomique. On écrira au préalable la différentielle dS en fonction de dU et dV, à l'aide de l'expression de l'énergie interne vue en cours et de l'équation d'état du GP.

Exercice 4 Expressions de l'entropie du GP *

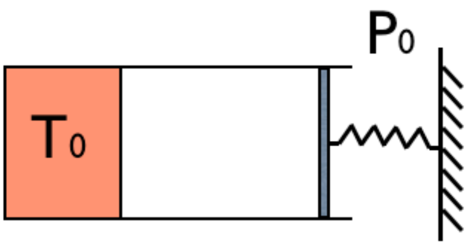
A partir des identités thermodynamiques, retrouver les trois expressions de l'entropie vu en cours :
S(T,V), S(T,P) et S(P,V). En déduire la loi de Laplace sous ses trois formes.
Application : calculer la variation de l'entropie lors d'une détente de Joule-Gay Lussac qui double le volume du gaz.

Exercice 5 Le cycle de Carnot ***

On veut montrer que l'aire du cycle de Carnot est la même en diagramme de Clapeyron et en diagramme entropique. Ecrire le premier principe et en déduire le travail W d'un cycle, à partir des chaleurs échangées sur les isothermes : Q_{BC} et Q_{DA}. Ecrire l'entropie en fonction du volume sur ces isothermes, à partir de la formule du cours. En déduire $S_C - S_B$ en fonction de $\ln(V_C/V_B)$. Calculer les chaleurs échangées Q_{BC} et Q_{DA} en fonction de $\ln(V_C/V_B)$ et des températures T_A et T_B. Conclure.

Exercice 6 «Thermomécanique ...» ***

On considère le système suivant où un volume V1=1L de gaz parfait monoatomique à température T1=300K est mis en contact à t=0, avec un thermostat à Température T0 = 1200K à gauche. Le système est fermé et en contact mécanique avec la pression extérieure P0=10^5Pa par un piston de surface S =10cm² à sa droite ainsi qu'avec un ressort de raideur k=100Nm-1, qui est au repos à t=0.
-En écrivant les équilibres mécaniques sur le piston et la loi des gaz parfaits, calculer les Pression P2 et volume V2 finaux, lorsque l'équilibre thermique est atteint.
- Calculer la variation totale d'entropie du gaz
- Exprimer l'entropie échangée en fonction de la chaleur échangée.
- A partir du premier principe dans le cas général, déterminer la chaleur échangée et en déduire l'entropie créée.



TD Machines thermiques

Exercice 1 Machine à air conditionné *

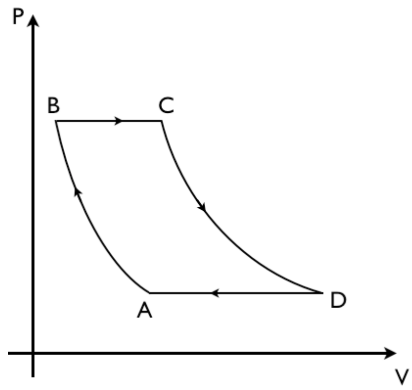
Une salle de cinéma est maintenue à température ambiante T = 291K par une machine à air conditionné reliée à l'extérieur du cinéma de température Te = 308K en été.
Calculer l'efficacité e théorique de la machine à air conditionné en fonctionnement réversible.
Que vaudrait elle en hiver quand Te = 0°C ? Que fait on alors ?
A la fin du film on allume les projecteurs qui apportent à la salle une puissance thermique additionnelle P=1000W. Quelle puissance supplémentaire doit on apporter à la machine pour maintenir la température constante ? (On raisonnera sur une durée ΔT quelconque et on suppose e inchangée).

Exercice 2 Géothermie **

L'eau chaude extraite du sol permet de maintenir un thermostat à une température T_F=312K. Celui-ci sert de source froide à une pompe à chaleur qui réchauffe le circuit d'eau des radiateurs d'un immeuble à une température de T_C=342K.
- Calculer l'efficacité théorique maximum de la pompe à chaleur.

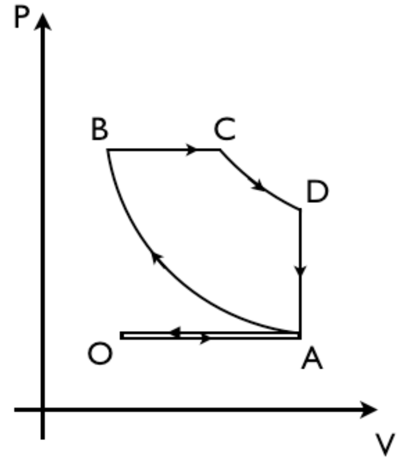
On estime que la pompe à chaleur fonctionne à 40% de son efficacité maximum. De plus pour maintenir le thermostat à T_F=312K, l'eau qui est extraite du sol à une température $T_{\text{géo}}$=350K traverse le thermostat et est renvoyée dans le sol à la température de T_F.
- Calculer la quantité d'eau à pomper dans le sol par joule de chaleur transférée au circuit d'eau. On donne la capacité thermique de l'eau c = 4,18kJ/K/kg.

Exercice 3 Le cycle de Joule : turboréacteur **



On considère le cycle ABCD suivant composé d'une adiabatique réversible - isobare - adiabatique réversible - isobare. Le cycle est moteur : indiquer le signe du travail lors du parcours du cycle.
- Quand fourni-t-on de la chaleur au système ?
- Définir ainsi le rendement du moteur.
- Exprimer ce rendement en fonction de gamma et du rapport a = Pmax/Pmin. Pour cela on calculera les chaleurs Q_{DA} et Q_{BC} en fonction des températures puis on reliera les températures par une loi appropriée aux adiabatiques réversibles.
- Exprimer ce rendement en fonction de T_A et T_B

Exercice 4 Le cycle Diesel ***



On considère le cycle OABCD suivant composé d'une admission - adiabatique réversible - isobare - adiabatique réversible - isochore - éjection. On confondra l'admission et l'éjection pour simplifier.
- Définir le rendement du moteur et indiquer le signe du travail lors du parcours du cycle.

On veut exprimer ce rendement en fonction de gamma et des rapports
α = Vmax/Vmin et β = Vmax/Vc.
- Expliciter α et β.
- A nouveau, on calculera les chaleurs Q_{DA} et Q_{BC} en fonction des températures puis on reliera les températures en fonction de α et β, par une loi appropriée aux adiabatiques réversibles. Simplifier l'expression en ne gardant que deux températures.
- Exprimer le rapport de ces températures en fonction de α et β, grâce à une autre des transformations du cycle.
- En déduire le rendement que l'on écrira en fonction des inverses de α et β.

Exercice 5 Machine thermique avec deux sources variables

On utilise cette fois-ci deux circuits de fluides caloporteurs de même capacité thermique pour servir de pseudo-sources. La source chaude a une température initiale T1 et la source froide T2. Après leur mise en contact thermique avec le système, les deux fluides ont la même température Tf.

- Calculer la température finale Tf en supposant un fonctionnement réversible.
- En déduire le travail maximum que l'on peut produire durant un cycle.

Exercice 6 Machine ditherme avec source non idéale

On modèlise un circuit de chauffage par une machine ditherme telle que T_F est un thermostat et Tc est un fluide caloporteur qui circule dans un tuyau au contact du système (on parle alors de pseudo-source). Au cours de la circulation d'un élément fluide de capacité c, la température de ce dernier varie de T_{ini} à T_0 pendant une durée τ.

On veut calculer la puissance théorique maximum correspondant à un fonctionnement réversible de la machine.

- Ecrire les Premier et second principes pour calculer les chaleurs échangées. On supposera pour calculer Q_F un fonctionnement réversible.
- Ecrire le bilan d'entropie pour l'ensemble de la machine {fluide, système, thermostat} en supposant qu'il n'y a aucune entropie de création et montrer qu'on obtient le même résultat. Commenter.
- En déduire la puissance de la machine.

TD Changement d'état

Exercice 1 H_2O Cocktail

On place de la glace pillée dans un grand verre et on y plante un thermomètre.

Que peut on dire prévoir sur la température indiquée par le thermomètre ?

On ajoute de l'eau et on agite pendant 5-10 minutes. Que peut-t-on dire sur la température indiquée par le thermomètre : si il reste de la glace dans le verre ou si la glace à entièrement fondue ?

On jette un glaçon dans l'océan, il y a donc à la fois de l'eau liquide et de l'eau solide. Peut-on en conclure que l'océan est à 0°C ? Pourquoi ? (Toutes ces expériences sont évidemment réalisées sous une pression d'une atmosphère).

Exercice 2 Le point critique

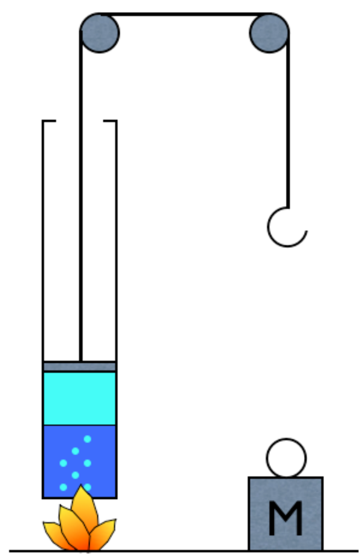
Calculer à partir d'un raisonnement sur les isothermes d'Andrews, la compressibilité isotherme d'un fluide thermodynamique au point critique.

Exercice 3 Le moteur de Denis Papin

Denis Papin a inventé la première machine à vapeur en 1688 soit bien avant Sadi Carnot !

Elle fonctionne grâce à un tube de hauteur H = 5m, qui permet à un piston de coulisser de haut en bas et le bloque à son extrémité supérieure. Le tube contient une masse d'eau m = 1,8kg en équilibre liquide-vapeur. Sa partie inférieure est tantôt portée sur un foyer à température T_C=420K, tantôt laissée à l'air libre, soit à la température T_F=298K.

Lorsque le tube est sur le foyer, la vapeur poussant le piston permet de faire glisser un câble, que l'on utilise pour soulever une masse comme sur la figure ci-contre dès lors que le piston à atteint sa hauteur maximale et s'apprête à redescendre. Ceci se produit lorsque l'on retire le foyer sous la base du tube, et que la vapeur se liquéfie. On donne les pressions de vapeur saturante $P_{sat}(T_C) = 5P_0$ et $P_{sat}(T_F) = 0.03P_0$.

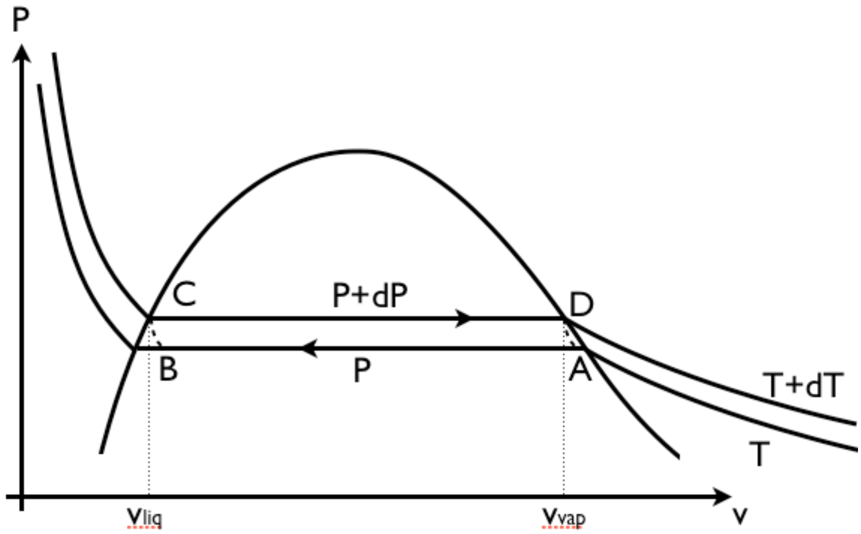


- On veut que la vapeur devienne totalement sèche au moment où le piston atteint le haut du tube. Quelle doit être la section S du tube ?
- Quelle masse maximale la machine de Papin peut-t-elle soulever ?
- Si le cycle moteur dure 1minute, que vaut la puissance de la machine de Papin ?
- Comment qualifier cette machine de 1688 ? A quelle machine fait elle penser ?

Exercice 4 Formule de Clapeyron

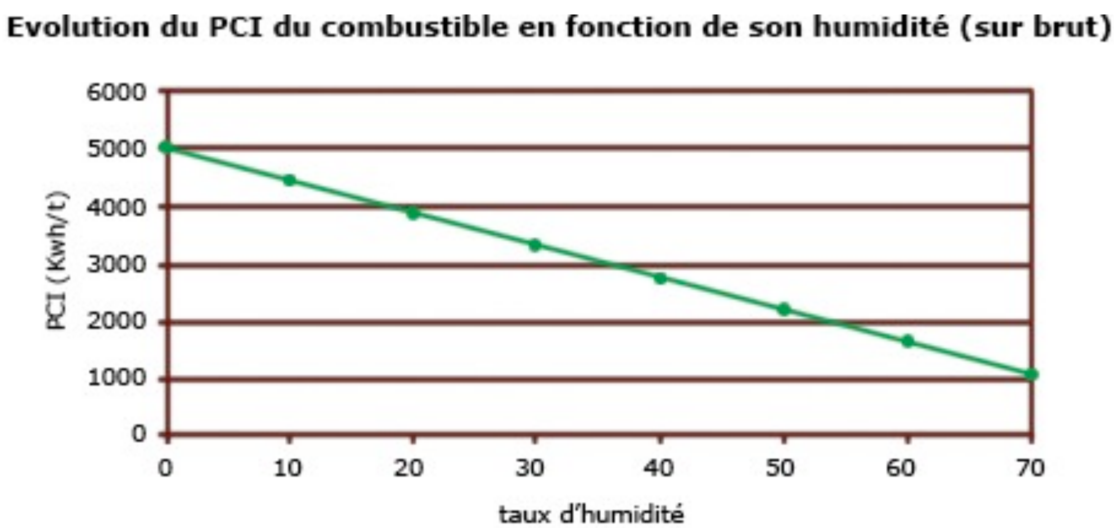
On considère un cycle ABCD entre deux isothermes d'Andrews de températures T et T + dT, tel que C et D sont respectivement les points d'ébullition et de rosée de l'isotherme à T + dT. DA et BC sont des adiabatiques réversibles. On suit l'évolution d'un système de masse m le long de ce cycle où les isothermes sont aussi des isobares à P et P + dP.

- Définir le rendement de Carnot du cycle et l'exprimer en fonction de T et dT.
- Exprimer le travail fournit par la masse m de fluide, dans le diagramme P-v en fonction de m, dP et des volumes massiques des deux phases.
- Quelle est la chaleur reçue par la masse m lors du changement d'état liquide-vapeur de celle-ci ?
- En déduire une autre expression du rendement.
- En identifiant les deux expressions du rendement, déduire une expression de L en fonction des volumes massiques, T, dP/dT. Que représente ce dernier rapport ?



Exercice 5 : Calcul du pouvoir calorifique du bois en fonction de de son humidité

On souhaite démontrer l'évolution du PCI suivante (source ONF) à partir de données simples :
- on donne la chaleur latente de l'eau L = 2470 kJ/kg.
- on considère l'humiditédu bois comme le pourcentage d'eau en masse au sein du bois.
- on utilisera la valeur de 5000 kwh/tonne si l'humidité est nulle



Retrouver la régression linéaire de l'ONF.
Quelle hypothèse fait on sur les variations de températures quant au bilan d'énergie global ?

Exercice 6 Le tube

On considère un tube de 10L séparé en deux compartiments par un piston de masse M.
Soit S la section du tube, on a Mg/S = 10^5Pa. Le compartiment du bas contient n_a = 0.1mol d'air et le compartiment supérieur n_e = 1mol d'eau. L'ensemble est thermalisé à 100°C.

Justifier que l'air est nécessairement sous forme de vapeur. Les gaz sont considérés parfaits.
- Le tube étant vertical avec l'air en bas, déterminé le titre molaire en vapeur d'eau.
- Le tube étant mis à l'horizontale, que se passe t-il ? Que vaut alors le titre ?
- Le tube revient à la verticale mais l'air en haut. Que vaut le titre ?
- On lâche enfin le tube qui tombe en chute libre. Quel est le titre ?

Exercice 7 Détente isochore d'une vapeur d'eau saturante

Un récipient fermé et indéformable de volume V = 1L contient de la vapeur d'eau saturante dans l'état initial i (Ti=485 K, Pi=20bar, x_{vi} = 1). On le met en contact avec un thermostat à la température T_0 = 373K.
- Déterminer l'état d'équilibre final f (Pf,Tf, x_{vf}).
  (On pourra faire une hypothèse simplificatrice à justifier)
- On donne pour T=373K : v_v = 1,7 m³/kg et v_l = 1,1810^-3 m³/kg. Retrouver le titre massique x_{vf}.
- Calculer le transfert thermique Q reçu par l'eau. On donne pour cela à T=485K : h_v = 2,8 MJ/kg et à T=373K : h_v = 2,67 MJ/kg et h_l = 4,18 kJ/kg. (Montrer au préalable que Q = ΔU).
- Déterminer la variation d'entropie de l'eau, l'entropie échangée par l'eau, l'entropie créée au cours de l'évolution commenter. On donne pour cela à T=485K :
  s_v = 6,35 kJ/K/kg et à T=373K : s_v = 7,36 kJ/K/kg et s_l = 1,3 kJ/K/kg.